

Field effect transistor used in a switching arrangement comprises a gate region between a source region and a drain region

Publication number: DE10036897

Publication date: 2002-01-03

Inventor: KRETZ JOHANNES (DE); LUYKEN JOHANNES R (DE);
ROESNER WOLFGANG (DE)

Applicant: INFINEON TECHNOLOGIES AG (DE)

Classification:

- International: *H01L21/335; H01L29/775; H01L51/30; H01L21/02; H01L29/66; H01L51/05; (IPC-1-7): H01L29/775; B82B1/00; B82B3/00; H01L51/20; H01L51/30*

- european: H01L29/775; H01L21/335D; H01L51/05B2B; Y01N4/00

Application number: DE20001036897 20000728

Priority number(s): DE20001036897 20000728

Also published as:



WO0211216 (A1)

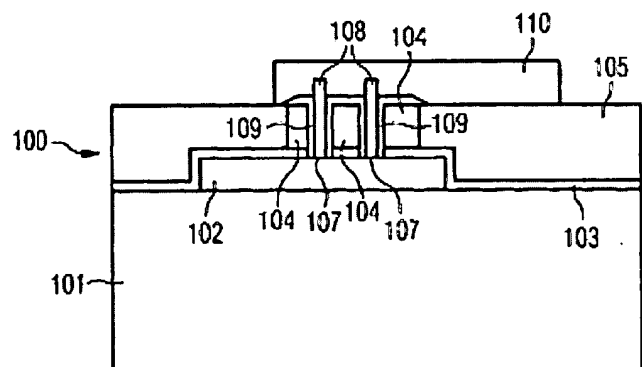
US6740910 (B2)

US2003132461 (A1)

Report a data error here

Abstract of DE10036897

Field effect transistor comprises a gate region (104) between a source region (102) and a drain region (110). The gate region contains a conducting material provided with a passage with a nano-element electrically coupled with the source region and the drain region. The nano-element is arranged and structured in such a way that it can be controlled via gate region and it forms a channel region. An Independent claim is also included for a process for the production of the field effect transistor. Preferred Features: The nano-element is a nano-tube and/or nano-wire. The gate region is a conducting layer. The nano-wire is a silicon nano-wire. The nano-tube is a carbon nano-tube. The nano-element has a heterostructure with an electrically insulating region between a first metallic region and a second metallic region.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 100 36 897 C 1

⑤1 Int. Cl.7: **H 01 L 29/775**
H 01 L 51/20
H 01 L 51/30
B 82 B 1/00
B 82 B 3/00

⑳ Aktenzeichen: 100 36 897.2-33
㉔ Anmeldetag: 28. 7. 2000
㉕ Offenlegungstag: -
㉖ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 3. 1. 2002

DE 100 36 897 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉗ Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

㉘ Vertreter:
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667
München

㉙ Erfinder:
Kretz, Johannes, 80538 München, DE; Luyken,
Johannes R., 81825 München, DE; Rösner,
Wolfgang, 81739 München, DE

㉚ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

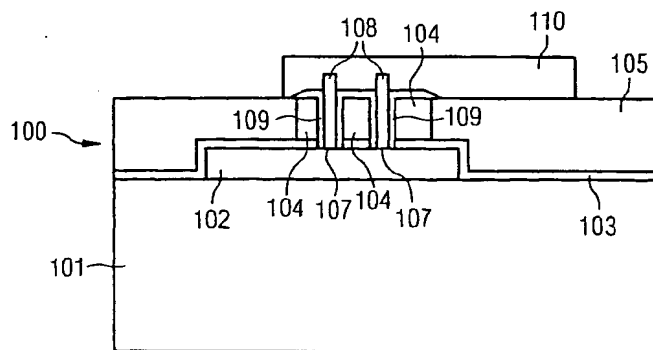
R. Müller, Bauelemente der Halbleiter-Elektronik,
Springerverlag, ISBN 3-540-06224-6, S. 130-157,
1973;

C. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular
Quantum
Wires, Physics Today, S. 22-28, Mai 1999;

Jung Sang Suh und Jin Seung Lee, Highly-Ordered
Two-Dimensional Carbon-Nanotube Arrays,
Applied
Physics Letters, Volume 75, Nr. 14, S. 2047-2049,
Oktober 1999;
Z.F. Ren et al, Synthesis of Large Arrays of
Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass,
SCIENCE,
Volume 282, S. 1105-1107, November 1998;
N.Wang et al, Si nanowires grown from silicon
oxide, Chemical Physics Letters, Vol. 299,
S. 237-242, 1999;
D. Goldberg et al, Fine Structure of boron nitride
nanotubes produced from carbon nanotubes by a
substitution reaction, Journal of Applied Physics,
Vol. 86, S. 2364-2366, 1999;

㉛ Feldeffekttransistor, Schaltungsanordnung und Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors

㉜ Der Gate-Bereich eines Feldeffekttransistors weist min-
destens ein Durchgangsloch auf, in dem ein Nanoelement
vorgesehen ist, das mit Source und Drain elektrisch ge-
koppelt ist. Das Nanoelement ist über das Gate in seiner
Leitfähigkeit steuerbar, so dass das Nanoelement einen
Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.



DE 100 36 897 C 1

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[0026] Das Nanoelement ist derart in dem Durchgangsloch angeordnet und ausgestaltet, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist. Auf diese Weise bildet das Nanoelement anschaulich den Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors.

[0027] Wird eine Kohlenstoff-Nanoröhre als Nanoelement eingesetzt, so weist die sich ergebende Struktur, das heißt der damit sich ergebende Feldeffekttransistor insbesondere den Vorteil auf, dass eine Kohlenstoff-Nanoröhre sehr einfach handhabbar und stabil ist, so dass die Fehleranfälligkeit eines solchen Feldeffekttransistors weiter verringert wird.

[0028] Durch Einsatz einer Heterostruktur wird anschaulich ein Feldeffekttransistor gebildet, der auf der Basis eines Tunnelprinzips elektrischer Ladungsträger beruht, wobei das Tunneln steuerbar ist aufgrund des elektrischen Potentials, welches an den Gate-Bereich angelegt wird.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Drain-Bereich Nickel, Kobalt oder eine Legierung aus Nickel und/oder Kobalt enthält.

[0030] Eine Schaltungsanordnung weist mindestens einen Feldeffekttransistor der oben dargestellten Art auf.

[0031] Eine solche Schaltungsanordnung hat insbesondere den Vorteil der erhöhten, auch dreidimensional nunmehr vollständig möglichen Integration und mit dem damit verbundenen verringerten Platzbedarf, das heißt einer erheblich erhöhten Integrationsdichte der Bauelemente auf einem Chip.

[0032] Bei einem Verfahren zum Herstellen des oben beschriebenen Feldeffekttransistors wird auf einem Substrat eine Source-Schicht aufgetragen, wobei als Substrat undotiertes oder dotiertes Silizium, Glas, Quarz oder auch Saphir eingesetzt werden kann.

[0033] Auf der Source-Schicht wird eine elektrisch leitende Gate-Schicht aufgetragen. In einem weiteren Schritt wird in der Gate-Schicht mindestens ein Durchgangsloch gebildet, vorzugsweise mittels Trockenätzens, da bei Einsatz eines Trockenätzverfahrens zum Bilden der Durchgangslöcher in dem Gate-Bereich insbesondere vertikale Strukturen sehr exakt ätzbar sind.

[0034] In das Durchgangsloch wird mindestens ein Nanoelement eingebracht, welches mit der Source-Schicht elektrisch gekoppelt ist.

[0035] Das Nanoelement ist dabei derart angeordnet und ausgestaltet, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das Nanoelement den Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.

[0036] Das Nanoelement wird für den Fall, dass es eine Kohlenstoff-Nanoröhre ist, beispielsweise auf einem sich auf dem Boden des Durchgangslochs befindenden Katalysator-Materials aufgewachsen oder auch abgeschieden.

[0037] Alternativ ist es vorgesehen, eine Kohlenstoff-Nanoröhre außerhalb des Durchgangslochs zu bilden und anschließend mechanisch in dem Durchgangsloch zu platzieren beispielsweise unter Verwendung eines Rasterkraftmikroskops derart, dass die in das Durchgangsloch eingebrachte Kohlenstoff-Nanoröhre in elektrischen Kontakt mit dem Boden, das heißt mit der oberen Oberfläche der Source-Schicht kommt.

[0038] Auf der Gate-Schicht wird eine Drain-Schicht eingebracht derart, dass die Drain-Schicht ebenfalls mit dem Nanoelement elektrisch gekoppelt ist.

[0039] Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass das Nanoelement eine Länge aufweist, die größer ist als die Länge des Durchgangslochs, so dass sich das Nanoelement noch über die Oberfläche des Durchgangslochs hinaus erstreckt und sich somit bei Aufwachsen oder Abscheiden der Drain-Schicht auf der Gate-Schicht automatisch eine

elektrische Kontaktierung der Drain-Schicht mit dem Nanoelement ausbildet.

[0040] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren dargestellt und wird im weiteren näher erläutert.

5 [0041] Es zeigen

[0042] Fig. 1a bis 1c einen Feldeffekttransistor gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zu unterschiedlichen Zeitpunkten während seines Herstellungsprozesses.

10 [0043] Fig. 1a zeigt ein Substrat, gemäß diesem Ausführungsbeispiel aus Siliziumdioxid 101.

[0044] In alternativen Ausführungsformen kann anstelle des Siliziumdioxids auch Quarz oder Saphir als Substrat 101 verwendet werden.

15 [0045] Auf dem Substrat 101 wird mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens, das heißt einem Abscheidungsverfahren aus der Gasphase oder eines Aufwachsverfahrens oder mittels Aufdampfens oder Sputterns eine Source-Schicht 102 aus Nickel aufgebracht und mittels Photolithographie strukturiert. Die Source-Schicht 102 bildet in strukturierter Form den Source-Bereich des zu bildenden Feldeffekttransistors.

20 [0046] Anstelle des Nickels kann für die Source-Schicht 102 als alternatives Material grundsätzlich jedes geeignete Metall, insbesondere Kobalt oder Eisen verwendet werden.

25 [0047] Auf der die Source-Elektrode bildenden strukturierten Source-Schicht 102 sowie auf dem Substrat 101 wird in einem weiteren Schritt eine Dialuminiumtrioxid-Schicht (Al_2O_3) 103 abgeschieden.

[0048] Diese verglichen mit der Source-Schicht 102 relativ dünne Dialuminiumtrioxid-Schicht 103 dient als Dielektrikum, mit dem die Gate-Elektrode, die durch eine im weiteren beschriebene Gate-Schicht gebildet wird, von der Source-Schicht 102 elektrisch isoliert wird.

30 [0049] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die Source-Schicht 102 ungefähr 100 nm dick und die Dialuminiumtrioxid-Schicht 103 weist eine Schichtdicke von ungefähr 20 nm auf.

35 [0050] Wie in Fig. 1a weiterhin dargestellt ist, wird in einem weiteren Schritt auf der Dialuminiumtrioxid-Schicht 103 eine Aluminium-Schicht abgeschieden und strukturiert, so dass die strukturierte Aluminiumschicht, die im weiteren als Gate-Schicht 104 bezeichnet wird, das Gate des zu bildenden Feldeffekttransistors 100 darstellt.

40 [0051] Die Gate-Schicht 104 weist ebenfalls eine Dicke von etwa 100 nm auf und wird mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens oder eines Sputter-Verfahrens, eines Aufdampf-Verfahrens oder eines Epitaxie-Verfahrens aufgebracht.

45 [0052] Anstelle des Aluminiums kann gemäß einer alternativen Ausführungsform für die Gate-Schicht 104 Titan, Wolfram, Silber oder Gold verwendet werden.

50 [0053] In einem weiteren Schritt (vergleiche Fig. 1b) wird eine weitere Schicht 105 aus Dialuminiumtrioxid abgeschieden mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens oder eines Sputter-Verfahrens oder eines Abdampf-Verfahrens und die gebildete, grundsätzlich beliebig dicke weitere Schicht 105 wird mittels eines chemisch mechanischen Polierverfahrens (CMP-Verfahren) auf eine Dicke reduziert derart, dass die obere Oberfläche der weiteren Schicht 105 auf gleicher Höhe ist mit der oberen Oberfläche der Gate-Schicht 104.

55 [0054] In einem weiteren Schritt wird in der Gate-Schicht 104 mittels beispielsweise Photolithographie und selbstjustierten bekannten Verengungsmethoden Photolack auf der Gate-Schicht und der weiteren Schicht 105 aufgebracht und es erfolgt eine Strukturierung derart, dass in einem weiteren Schritt mittels Trockenätzens Löcher 106 in die Gate-Schicht 105 geätzt werden.

60 [0055] Die auf diese Weise gebildeten Durchgangslöcher 106 weisen einen Durchmesser von ungefähr 1 nm bis

10 nm auf.

[0056] Das Trockenätzverfahren wird solange durchgeführt, bis sowohl in den gebildeten Löchern 106 das Material der Gate-Schicht 104 als auch das sich jeweils darunter liegende Material der Dialuminiumtrioxid-Schicht 103 entfernt wird.

[0057] Falls die verwendete Source-Schicht 102 nicht selbst die nötigen katalytischen Eigenschaften aufweist, wird in die Durchgangslöcher 106 in einem weiteren Schritt Material 107 aufgebracht, welches hinsichtlich eines weiteren beschriebenen Aufwachsens beziehungsweise Abscheidens von Kohlenstoff-Nanoröhren oder Silizium-Nanodrähten in dem Durchgangsloch 106 katalytisch wirkt.

[0058] Als Material 107 wird gemäß diesem Ausführungsbeispiel Nickel, Kobalt oder Eisen verwendet.

[0059] In einem weiteren Schritt wird, wie in Fig. 1c dargestellt ist, mittels des in [3] beschriebenen Verfahrens in jedem Durchgangsloch mindestens eine einwandige oder mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhre abgeschieden unter Einsatz des katalytisch wirkenden Metalls 107. Selbstverständlich kann auch das in [4] beschriebene Verfahren in diesem Zusammenhang eingesetzt werden.

[0060] Das Abscheiden erfolgt derart, dass die jeweilige Kohlenstoff-Nanoröhre über die katalytisch wirkenden Metalle 107 mit der Source-Schicht 102 elektrisch gekoppelt sind.

[0061] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel sind die aufgewachsenen Kohlenstoff-Nanoröhren halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhren.

[0062] Die Kohlenstoff-Nanoröhren können mittels des bekannten Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den Gate-Bereich, das heißt an die Gate-Schicht 104 in ihrer Leitfähigkeit gesteuert werden, so dass die Kohlenstoff-Nanoröhren 108 anschaulich die Funktionalität des Kanalbereichs eines Feldeffekttransistors aufweisen.

[0063] Alternativ zu den Kohlenstoff-Nanoröhren können in die Durchgangslöcher 106, wie oben beschrieben, gemäß dem aus [5] bekannten Verfahren Silizium-Nanodrähte mittels selektiver Silizium-Epitaxie aufgewachsen werden.

[0064] Auch Silizium-Nanodrähte können im Rahmen dieser Erfindung mittels eines sich ausbildenden Feldeffekts als Kanal-Bereich eines Feldeffekttransistors verwendet werden.

[0065] In einem weiteren Schritt wird ein Teil des Metalls der Gate-Schicht 104, insbesondere beispielsweise das Aluminium der Gate-Schicht 104 oxidiert, so dass sich eine dünne oxidierte Gate-Schicht, beispielsweise aus Dialuminiumtrioxid 109 zwischen der weiterhin aus Metall, beispielsweise aus Aluminium bestehenden Gate-Schicht und den Nanoelementen, beispielsweise den Kohlenstoff-Nanoröhren oder den Silizium-Nanodrähten ausbildet.

[0066] In einem letzten Schritt wird auf der oxidierten Schicht 109 und der weiteren Schicht 105 eine weitere Metallschicht 110 als eine das Drain des Feldeffekttransistors bildende Drain-Schicht abgeschieden und mittels lithographischer Verfahren strukturiert.

[0067] Die Drain-Schicht 110 kann Nickel, alternativ auch Kobalt aufweisen.

[0068] Die Kohlenstoff-Nanoröhren 108 beziehungsweise die Silizium-Nanodrähte weisen eine Länge auf derart, dass sie nach deren Abscheidung beziehungsweise deren Aufwachsens über die obere Oberfläche der oxidierten Schicht 109 hinausragen.

[0069] Auf diese Weise wird durch Abscheiden beziehungsweise Aufbringen der Drain-Schicht 110 automatisch ein elektrischer Kontakt zu dem Nanoelement geschaffen, das heißt beispielsweise zu der Kohlenstoff-Nanoröhre 108

oder zu dem Silizium-Nanodraht.

[0070] In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

- [1] R. Müller, Bauelemente der Halbleiter-Elektronik, Springer-Verlag, ISBN 3-540-06224-6, Seite 130-157, 1973.
- [2] C. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular Quantum Wires, Physics Today, S. 22-28, Mai 1999,
- [3] Jung Sang Suh und Jin Seung Lee, Highly-Ordered Two-Dimensional Carbon-Nanotube Arrays, Applied Physics Letters, Volume 75, Nr. 14, S. 2047-2049, Oktober 1999.
- [4] Z. F. Ren et al. Synthesis of Large Arrays of Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass, SCIENCE, Volume 282, S. 1105-1107, November 1998.
- [5] N. Wang et al. Si nanowires grown from silicon oxide, Chemical Physics Letters, Vol. 299, S. 237-242, 1999
- [6] D. Goldberg et al. Fine structure of boron nitride nanotubes produced from carbon nanotubes by a substitution reaction, Journal of Applied Physics, Vol. 86, S. 2364- 2366, 1999.

Bezugszeichenliste

- 100 Feldeffekttransistor
- 101 Substrat
- 102 Source-Schicht
- 103 Dialuminiumtrioxid-Schicht
- 104 Gate-Schicht
- 105 Weitere Schicht
- 106 Durchgangsloch
- 107 Katalytisches Material
- 108 Kohlenstoff-Nanoröhre
- 109 Oxidierte Gate-Schicht
- 110 Drain-Schicht

Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor mit einem Source-Bereich, mit einem Drain-Bereich, mit einem Gate-Bereich zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich, bei dem der Gate-Bereich leitfähiges Material enthält, in dem mindestens ein Durchgangsloch vorgesehen ist, bei dem in dem Durchgangsloch mindestens ein Nanoelement vorgesehen ist, das mit dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich elektrisch gekoppelt ist, und bei dem das Nanoelement derart angeordnet und ausgestaltet ist, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das Nanoelement einen Kanal-Bereich bildet.
2. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1, bei dem das Nanoelement eine Nanoröhre und/oder einen Nanodraht aufweist.
3. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Gate-Bereich eine leitfähige Schicht ist.
4. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Nanoelement einen halbleitenden Nanodraht aufweist.
5. Feldeffekttransistor nach Anspruch 4, bei dem der Nanodraht einen Silizium-Nanodraht aufweist.
6. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Nanoelement eine halbleitende Nanoröhre aufweist.
7. Feldeffekttransistor nach Anspruch 6, bei dem die Nanoröhre eine Kohlenstoff-Nanoröhre aufweist.
8. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das Nanoelement eine Heterostruktur aufweist, mit

einem ersten metallisch leitenden Bereich,
 einem zweiten metallisch leitenden Bereich, und
 einem elektrisch isolierenden Bereich, der zwischen
 dem ersten metallisch leitenden Bereich und dem zwei-
 ten metallisch leitenden Bereich angeordnet ist. 5
 9. Feldeffekttransistor nach Anspruch 8,
 bei dem der erste metallisch leitende Bereich der Nano-
 röhre eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre
 ist,
 bei dem der zweite metallisch leitende Bereich der Na- 10
 noröhre eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nano-
 röhre ist, und
 bei dem der elektrisch isolierende Bereich der Nano-
 röhre eine Bor-Nitrid-Nanoröhre ist.
 10. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 15
 bis 9, bei dem der Source-Bereich ein für das Bilden ei-
 ner Nanoröhre katalytisch wirkendes Material enthält.
 11. Feldeffekttransistor nach Anspruch 10, bei dem
 das für das Bilden der Nanoröhre katalytisch wirkende
 Material mindestens eines der folgenden Materialien 20
 enthält:
 Nickel, und/oder
 Kobalt, und/oder
 Eisen, und/oder
 eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genann- 25
 ten Materialien.
 12. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1
 bis 11, bei dem der Gate-Bereich zumindest eines der
 folgenden Materialien enthält:
 Aluminium, und/oder 30
 Titan, und/oder
 Wolfram, und/oder
 Gold, und/oder
 Silber, und/oder
 eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genann- 35
 ten Materialien.
 13. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1
 bis 12, bei dem der Drain-Bereich zumindest eines der
 folgenden Materialien enthält:
 Nickel, und/oder 40
 Kobalt, und/oder
 eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genann-
 ten Materialien.
 14. Schaltungsanordnung mit mindestens einem Feld-
 effekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 13. 45
 15. Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransi-
 stors,
 bei dem auf einem Substrat eine Source-Schicht aufge-
 tragen wird,
 bei dem auf der Source-Schicht eine elektrisch leitfä- 50
 hige Gate-Schicht aufgetragen wird,
 bei dem in der Gate-Schicht mindestens ein Durch-
 gangsloch gebildet wird,
 bei dem in das Durchgangsloch mindestens ein Nano-
 element eingebracht wird, das mit der Source-Schicht 55
 elektrisch gekoppelt ist, wobei das Nanoelement derart
 angeordnet und ausgestaltet ist, dass es über den Gate-
 Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das
 Nanoelement einen Kanal-Bereich bildet,
 bei dem auf der Gate-Schicht eine Drain-Schicht auf- 60
 gebracht wird derart, dass die Drain-Schicht mit dem
 Nanoelement elektrisch gekoppelt ist.
 16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das Durch-
 gangsloch mittels Trockenätzens gebildet wird. 65

FIG 1a

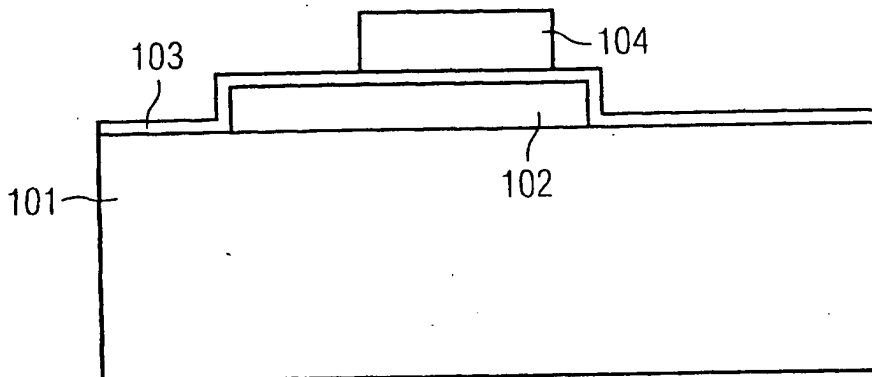


FIG 1b

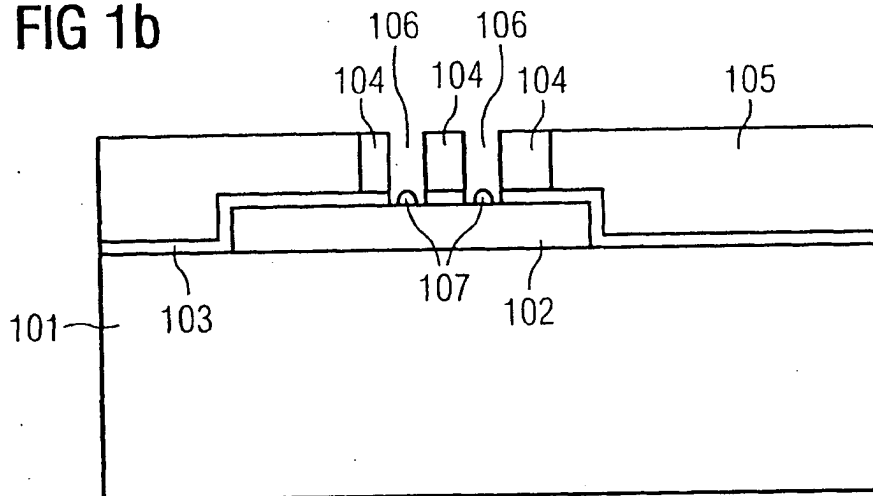


FIG 1c

